

Лабораторная работа № 26. Исследование усилителя низкой частоты с резистивно-емкостной связью

Цель работы: изучить принцип действия и основные характеристики двухкаскадного усилителя напряжения низкой частоты на транзисторах с резистивно-емкостной связью. Изучить работу двухтактного усилителя мощности на основе 2 эмиттерных повторителей с двухполярным питанием на биполярных транзисторах.

Краткие теоретические сведения

Усилитель это устройство, преобразующее сигнал малой мощности в сигнал большей мощности за счёт энергии источника питания.

Простейшим усилителем является усилительный каскад, содержащий усилительный элемент (биполярный, полевой транзистор либо операционный усилитель), пассивные элементы (резисторы и конденсаторы) и постоянный источник питания, которые обеспечивают нужный режим работы каскада.

Применяемые на практике усилители являются достаточно сложными устройствами, которые содержат в себе ряд усилительных каскадов, обеспечивающих не только усиление входного сигнала, но и согласование с источником и потребителем сигнала.

Усилительный каскад это минимальный функциональный блок, обеспечивающий усиление сигнала. Обычно в его состав входят один или несколько *усилительных элементов* (электронный прибор, обеспечивающий усиление сигнала – транзистор или электронная лампа), цепи обратной связи, элементы обеспечивающие режим по постоянному току, и т.д.

Важнейшей величиной, характеризующей усилительный каскад, является *коэффициент усиления*, равный отношению уровня выходного сигнала к уровню входного. Различают три коэффициента усиления – коэффициент усиления по напряжению, току и мощности:

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}, K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}, K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}} U_{\text{ВХ}}} = K_I K_U,$$

Исходя из определения усилителя, любой усилитель увеличивает мощность входного сигнала, и значит основным коэффициентом усиления должен быть коэффициент усиления по мощности, однако при проектировании усилителей акцент ставится на усиление одной из трёх величин, поэтому различают усилители напряжения, тока и мощности. Наиболее часто требуется усиление напряжения, поэтому в литературе наиболее распространён K_U , и, в ряде случаев, он принимается за определение коэффициента усиления вообще.

С целью увеличения коэффициента усиления несколько каскадов объединяются в многокаскадный усилитель. Его коэффициент усиления равен произведению одноименных коэффициентов усиления всех каскадов устройства:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_N,$$

где N – число каскадов.

При этом выходное напряжение предыдущего каскада подается на вход последующего. Соединение каскадов производится через элементы связи

(конденсаторы, резисторы либо трансформаторы), которые определяют тип усилителя.

Каскадами предварительного усиления обычно являются усилители напряжения, а оконечными каскадами – усилители мощности.

Изучаемый в работе усилитель состоит из двух каскадов: усилителя напряжения на биполярном транзисторе и бестрансформаторного двухтактного усилителя мощности на биполярных транзисторах, соединенных по схеме с резистивно-емкостной связью.

На рис. 1 изображена, принципиальная схема исследуемого двухкаскадного усилителя.

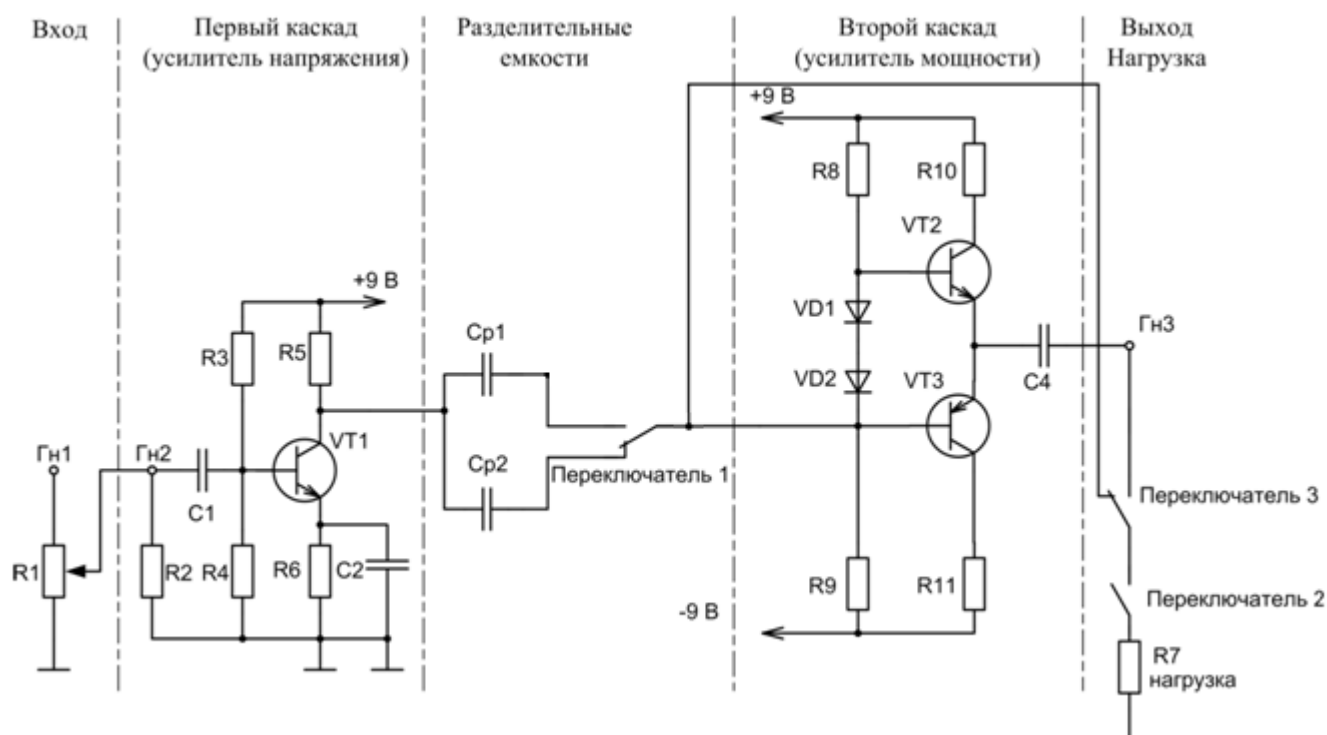


Рис.1 Принципиальная схема исследуемого двухкаскадного усилителя

Первый каскад усилителя (рис. 2) собран на транзисторе n-p-n типа VT1, включённом по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Делитель напряжения R3-R4 задает величину постоянного напряжения на базе транзистора (режим работы по постоянному току), резистор R5 является нагрузочным резистором в цепи коллектора, обеспечивающим динамический режим работы транзистора. Элементы R6 и C2 обеспечивают температурную стабилизацию усиления. На входе и выходе каскада имеются разделительные конденсаторы C1 и Cp1 (или Cp2), необходимые для обеспечения независимости режима работы каскада по постоянному току (режима покоя, характеризующегося I_{B0} , I_{K0} , $U_{BЭ0}$, $U_{КБ0}$) от входной и выходной цепей.

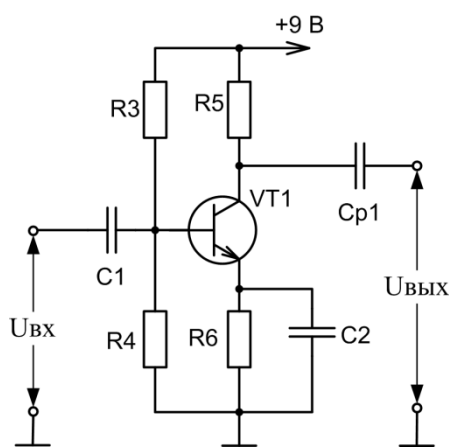


Рис. 2. Первый каскад

Входное сопротивление каскада на транзисторе с ОЭ обычно составляет порядка нескольких сотен Ом. Выходное сопротивление велико и может составлять несколько десятков кОм. Поэтому при работе усилителя на низкоомную нагрузку необходимо использовать согласующий каскад.

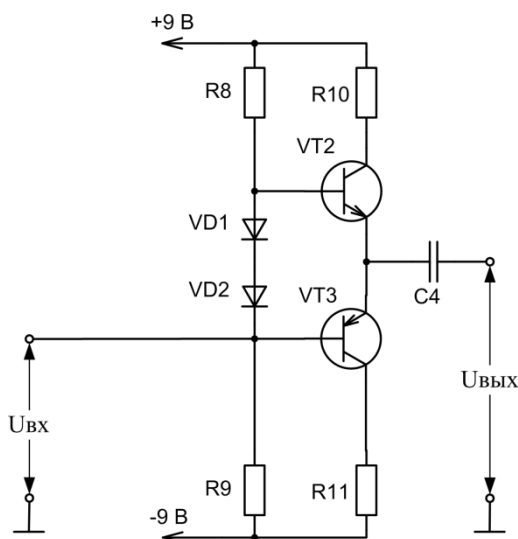


Рис. 3. Второй каскад

В современной электронике при создании усилителей на не слишком большие выходные мощности и не слишком малые сопротивления нагрузки наиболее широко применяются двухтактные устройства без использования трансформаторов. Такие усилители мощности имеют небольшие габаритные размеры и массу, а также обладают повышенной надежностью. На рис. 3 показан второй (выходной) каскад усилителя, являющийся бестрансформаторным двухтактным усилителем мощности. Он собран на комплементарных транзисторах VT2 и VT3 (транзисторах разной структуры [n-p-n и p-n-p], но имеющих близкие характеристики), работающих в

режимах эмиттерных повторителей напряжения (схема с общим коллектором). Режим работы по постоянному току задают делитель R8-R9 и коллекторные резисторы R10 и R11. Диоды VD1 и VD2 создают небольшое смещение напряжения для увеличения начальных токов и обеспечивают работу усилителя в режиме АВ. Начальные токи, протекающие через транзисторы VT2 и VT3, в силу разнополярности транзисторов взаимно компенсируются. Это приводит к уменьшению искажений сигнала, а также обеспечивает параметрическую температурную стабилизацию работы транзисторов. Выходное сопротивление каскада мало (порядка десятков кОм), что обеспечивает хорошее согласование с низкоомной нагрузкой.

Второй каскад является усилителем тока, а его коэффициент передачи по напряжению близок к 1 (что характерно для эмиттерного повторителя), $K_p \gg 1$.

Основными характеристиками усилителей являются амплитудная и амплитудно-частотная. Амплитудная характеристика усилителя – это зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного напряжения. Эта характеристика представлена на рис. 4. Участок «ab» кривой соответствует линейному режиму работы усилителя (т.е. $U_{\text{вых}}$ пропорционально $U_{\text{вх}}$, и коэффициент усиления $K = \text{const}$). На участке «bc» при увеличении входного напряжения появляются искажения формы выходного напряжения, называемые нелинейными искажениями, и коэффициент усиления падает. При дальнейшем увеличении $U_{\text{вх}}$ выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ не меняется, усилитель работает в режиме насыщения. Рабочим участком усилителя является линейный участок характеристики «ab».

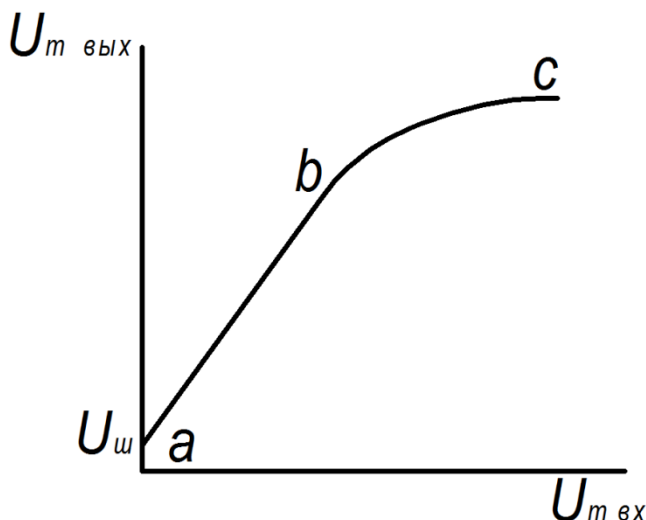


Рис. 4. Амплитудная характеристика

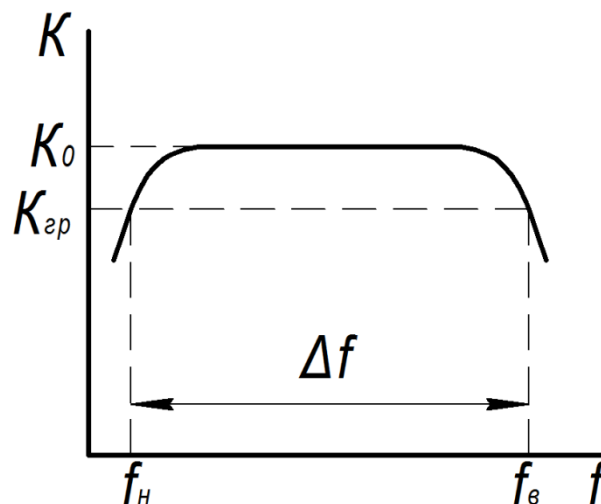


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотная характеристика усилителя – это зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала. Вид этой характеристики для усилителя с RC-связью показан на рис. 5.

Снижение коэффициента усиления в области нижних и верхних частот называют частотными искажениями. Они оцениваются коэффициентами частотных искажений на верхних частотах $M_B = \frac{K_0}{K_B}$ и на нижних частотах $M_H = \frac{K_0}{K_H}$, где K_B и

K_H – коэффициенты усиления на верхних и нижних частотах, а K_0 – максимальное значение коэффициента усиления. Обычно допустимое значение коэффициента частотных искажений M принимают равным $\sqrt{2}$. Частоты f_H и f_B , соответствующие минимальным значениям коэффициента усиления, называют нижней и верхней граничными частотами, а диапазон частот $\Delta f = f_H - f_B$ полосой пропускания усилителя.

Влияние емкости связи между каскадами C_{p1} (C_{p2}) можно проанализировать по амплитудно-частотной характеристике усилителя при различных значениях C_{p1} и C_{p2} .

Влияние нагрузки на работу первого каскада исследуется по амплитудным характеристикам при наличии низкоомной нагрузки (резистор R_7) на выходе первого каскада и в режиме холостого хода (при отключении резистора R_7 переключателем 2).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом, генератором синусоидальных колебаний, осциллографом.
2. Собрать схему исследования усилителя на транзисторах (рис. 1 бланка):
 - 2.1. Входные гнезда усилителя (Γ_{H2}, \mathbf{I}) соединить с выходом генератора синусоидальных колебаний.
 - 2.2. Выход первого каскада соединить со входом второго каскада через разделительную емкость $C_{p1}=3,3$ мкФ (переключатель 1 установить в верхнее положение).
 - 2.3. Выходные гнезда усилителя (Γ_{H3}, \mathbf{I}) присоединить к осциллографу.
3. Включить питание (тумблер «сеть») стенда, генератора и осциллографа.

4. Опыт 1. Определить коэффициент усиления по напряжению транзисторного усилителя в режиме холостого хода. Для этого необходимо:

4.1. Установить переключатель 2 в левое положение, переключатель 3 в правое положение. Установить с помощью генератора частоту входного сигнала $f = 5 \text{ кГц}$.

4.2. На вход усилителя подать с генератора входной сигнал $U_{\text{вх}} = 5 \text{ мВ}$ (регулируется с помощью потенциометра R1). Для измерения входного сигнала используется вольтметр, подключенный к Гн2,1 (см. Приложение).

4.3. Измерить с помощью вольтметра выходное напряжение усилителя (Гн3,1).

Коэффициент усиления двухкаскадного усилителя по напряжению будет равен $K = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$.

Результаты записать в таблицу 1 бланка лабораторных работ.

Исследовать влияние согласующего каскада на коэффициент усиления двухкаскадного усилителя. Для этого:

4.4. Подключить низкоомную нагрузку (резистор $R7 = 130 \text{ Ом}$) к выходу **первого** каскада (переключатель 2 установить в правое положение, переключатель 3 - в левое положение), при этом вход второго каскада шунтируется и соответственно снижается нагрузка первого каскада.

4.5. Измерить величину напряжения ($U'_{\text{вых}}$) на выходе усилителя (Гн3,1);

4.6. Подключить нагрузку (резистор $R7 = 130 \text{ Ом}$) к выходу **второго** каскада (переключатель 3 - в правое положение)

4.7. Измерить величину напряжения ($U''_{\text{вых}}$) на выходе усилителя (Гн3,1).

4.8. Рассчитать коэффициент уменьшения выходного напряжения усилителя при включении несогласованной нагрузки к усилителю с ОЭ $(U'_{\text{вых}} / U''_{\text{вых}}) \cdot 100\%$.

Результаты записать в таблицу 1 бланка лабораторных работ.

5. Опыт 2. Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя.

Снять 2 амплитудно-частотные характеристики усилителя при различных значениях разделительных емкостей C_{p1} и C_{p2} в режиме холостого хода. Порядок действий:

5.1. Установить и поддерживать при измерениях входное напряжение $U_{\text{вх}} = 5 \text{ мВ}$.

5.2. Переключатель 2 установить в левое положение (режим х.х.), переключатель 3 в правом положении.

5.3. Частоту сигнала менять в диапазоне от 50 до 30000 Гц (согласно таблице 2).

5.4. Устанавливать на каждой из выбранных частот следующие значения разделительной емкости C_p :

Значения разделительной ёмкости	№ вывода
$C_{p1} = 3,3 \text{ мкФ}$	переключатель 1 в верхнем положении
$C_{p2} = 0,033 \text{ мкФ}$	переключатель 1 в нижнем положении

5.5. Измерить значения $U_{\text{вых}}$ (Гн3,1) для каждой из выбранных частот.

Результаты измерений записать в таблицу 2 бланка лабораторных работ.

По данным таблицы 2 на рис. Б3 бланка построить 2 амплитудно-частотные характеристики усилителя.

6. Опыт 3. Изучение амплитудных характеристик первого каскада усилителя.

Снять амплитудную характеристику первого каскада усилителя напряжения в режиме холостого хода. Для этого:

6.1. Переключатель 2 установить в левое положение, переключатель 3 в левое положение.

6.2. Установить разделительную ёмкость $C_{p1} = 3,3 \text{ мкФ}$.

6.3. Установить частоту входного сигнала $f = 5 \text{ кГц}$.

6.4. Величину входного сигнала $U_{вх}$ изменять от 1 до 100 мВ с помощью потенциометра R1 (согласно таблице 3).

6.5. Измерить значения $U_{вых1}$ первого каскада (Гн3,1) для каждого из выбранных значений входного напряжения.

Результаты записать в таблицу 3 бланка лабораторных работ.

Снять амплитудную характеристику первого каскада усилителя напряжения под нагрузкой. Для этого:

6.5. Подключить нагрузку (резистор $R7=130 \text{ Ом}$) к выходу первого каскада (переключатель 2 установить в правое положение, переключатель 3 – в левое положение).

6.6. Снять амплитудную характеристику каскада следуя пунктам 6.2-6.5.

Результаты записать в таблицу 3 бланка лабораторных работ.

По данным таблицы 3 на рис. Б4 бланка построить 2 амплитудные характеристики первого каскада усилителя. Выделить на них линейный участок.

7. Опыт 4. Исследовать форму выходного сигнала усилителя в зависимости от величины входного сигнала. Порядок выполнения:

7.1. К выходным гнездам усилителя (Гн3,1) подсоединить осциллограф;

7.2. Переключатель 2 установить в левое положение, переключатель 3 – в правое.

7.3. Установить величину входного сигнала $U_{вх}=10 \text{ мВ}$ ($U_{вх.лр}$), соответствующую линейному режиму работы усилителя и зарисовать на рис.Б2,а форму сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа в линейном режиме работы усилителя (при отсутствии искажения формы выходного сигнала);

7.4. Увеличивать величину входного сигнала до момента появления искажения формы выходного сигнала;

7.5. Измерить величину входного напряжения $U_{вх.мин}$ при минимальных искажениях выходного сигнала (Гн2,1) и зарисовать на рис.Б2 форму сигнала при минимальных искажениях;

7.6. Увеличивать величину входного сигнала до значения, соответствующего переходу усилителя в режим насыщения;

7.7. Измерить величину входного напряжения $U_{вх.рнв}$ в режиме насыщения (Гн2,1) и зарисовать на рис Б2 форму сигнала в режиме насыщения.

8. Выключить стенд и приборы.

Проведение измерений с помощью осциллографа.

Для измерения параметров электрических сигналов ручками смещения сигнала совместите сигнал с делениями шкалы так, чтобы было удобно проводить измерения. Выбирают положения переключателей “В/дел” такими, чтобы размер исследуемого сигнала по вертикали получался от 2 до 6 делений.

Рассмотрим определение *частоты* исследуемого сигнала. Пусть период исследуемого сигнала занимает два деления, а длительность развертки установлена 10 мс/дел. Тогда период исследуемого сигнала будет равен: $2 \text{ дел} \cdot 10 \text{ мс/дел} = 20 \text{ мс}$. Затем из формулы связи периода и частоты исследуемого сигнала ($f = 1/T$) определим его частоту: $f = 1/20 \text{ мс} = 50 \text{ Гц}$.

Рассмотрим теперь, как определяется *амплитуда* напряжения исследуемого сигнала. Амплитуда синусоидального сигнала равна половине размаха изображения по вертикали. Для ее нахождения определим сначала, сколько делений занимает изображение сигнала по вертикали. Умножив число делений, соответствующее амплитуде, на коэффициент отклонения в вольтах на деление, получим амплитуду сигнала в вольтах. Например, изображение синусоидального сигнала по вертикали занимает 4 деления. Следовательно, амплитуда исследуемого сигнала на экране осциллографа будет составлять два деления. Если коэффициент отклонения равен 5 В/дел, то амплитуда сигнала будет равна 10 В.

Литература

1. Игумнов В. Г., Костюнина Г.П. Основы полупроводниковой электроники. Учебное пособие для вузов.— 2-е изд., дополн. М.: Горячая линия - Телеком, 2011.
2. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов. — 3-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2004.
3. Быстров Ю. А., Мироненко И. Г.. Электронные цепи и микросхемотехника: учебник. М.: Высш. шк., 2002.
4. Герасимов В.Г. и др. Основы промышленной электроники. М.: Высшая школа, 1986 г.

Контрольные вопросы

1. Какие элементы образуют усилительный каскад?
2. С какой целью применяются многокаскадные усилители?
3. Что такое коэффициент усиления?
4. Что такое амплитудная характеристика усилителя?
5. Что такое амплитудно-частотная характеристика?
6. Чему равен коэффициент усиления многокаскадного усилителя?
7. Как влияет ёмкость разделительного конденсатора на амплитудно-частотную характеристику?
8. Как влияет ёмкость конденсатора в цепи эмиттера на коэффициент усиления.
9. Что такое линейный и нелинейный режимы работы усилителя?
10. Что такое частотные и нелинейные искажения?

Студент _____ Группа _____ Выполнено _____
 Курс _____ Оформлено _____
 Сдано _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С RC-СВЯЗЬЮ

Принципиальная схема

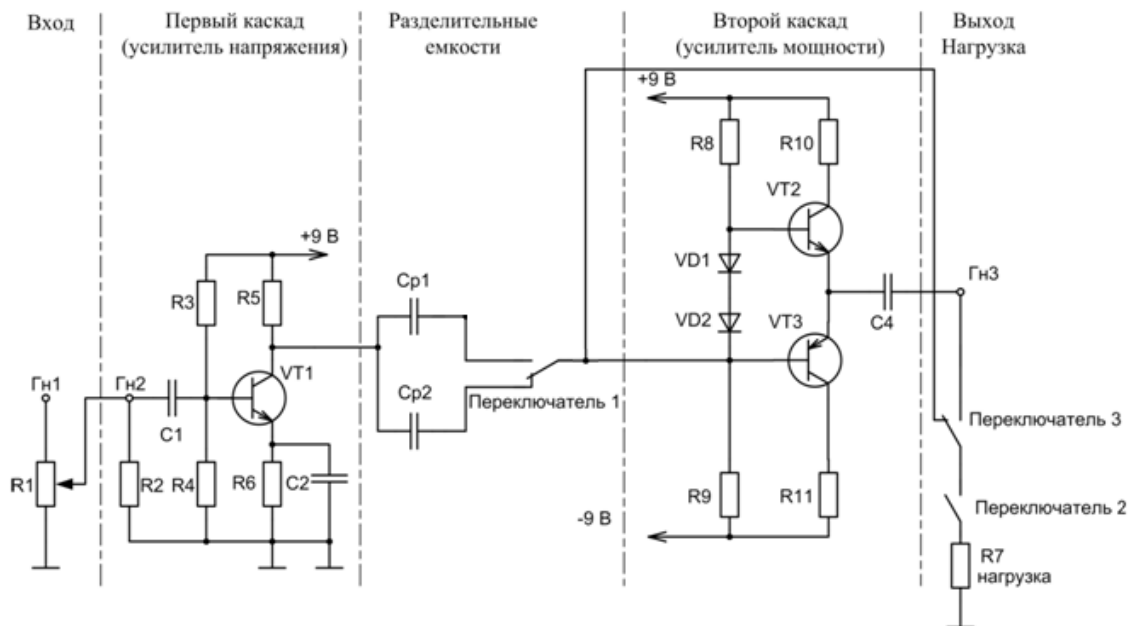


Рис. 1

ОПЫТ 1

Определение коэффициентов усиления

Таблица 1

$f=5\text{ кГц}$	$U_{\text{ВХ}}, \text{ мВ}$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ мВ}$	$U'_{\text{ВЫХ}}, \text{ мВ}$	$U''_{\text{ВЫХ}}, \text{ мВ}$	Рассчитать	
					$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$	$\frac{U'_{\text{ВЫХ}}}{U''_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\%$
5						

ОПЫТ 2

Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя

Таблица 2

$K = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$ при $U_{\text{ВХ}} = 5 \text{ мВ}$									
$f, \text{ Гц}$		50	500	1000	2000	4000	10000	20000	30000
1	$C_{p1} = 3,3 \text{ мкФ}$								
2	$C_{p2} = 0,033 \text{ мкФ}$								

ОПЫТ 3

Снятие амплитудной характеристики усилителя

Таблица 3

$f=5\text{ кГц}$	$U_{\text{ВХ}}, \text{ мВ}$	1	5	10	20	40	60	100
	$U_{\text{ВЫХ1}}, \text{ В (х.х.)}$							
	$U_{\text{ВЫХ1}}, \text{ В (R}_H\text{)}$							

ОПЫТ 4

Исследовать форму выходного сигнала усилителя в зависимости от величины входного сигнала

Осциллограммы

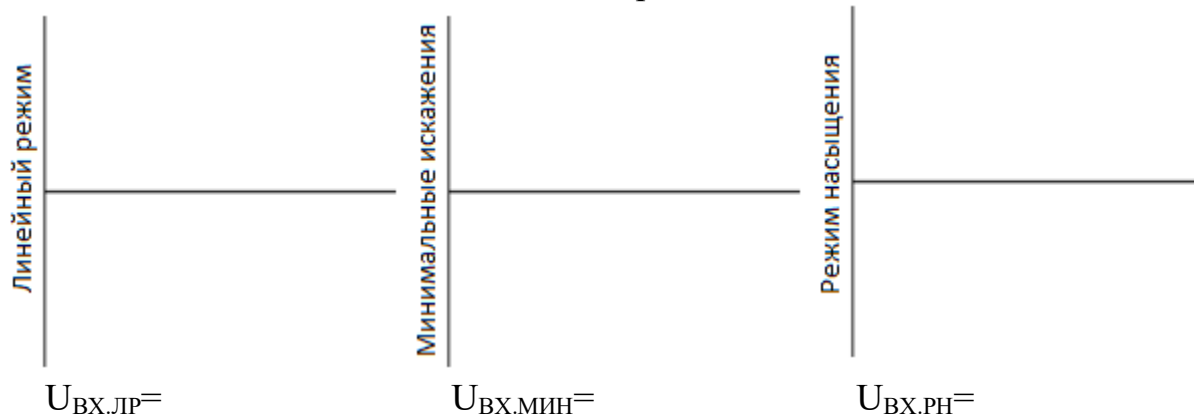


Рис. Б2

Амплитудно-частотная характеристика (по данным таблицы 2)

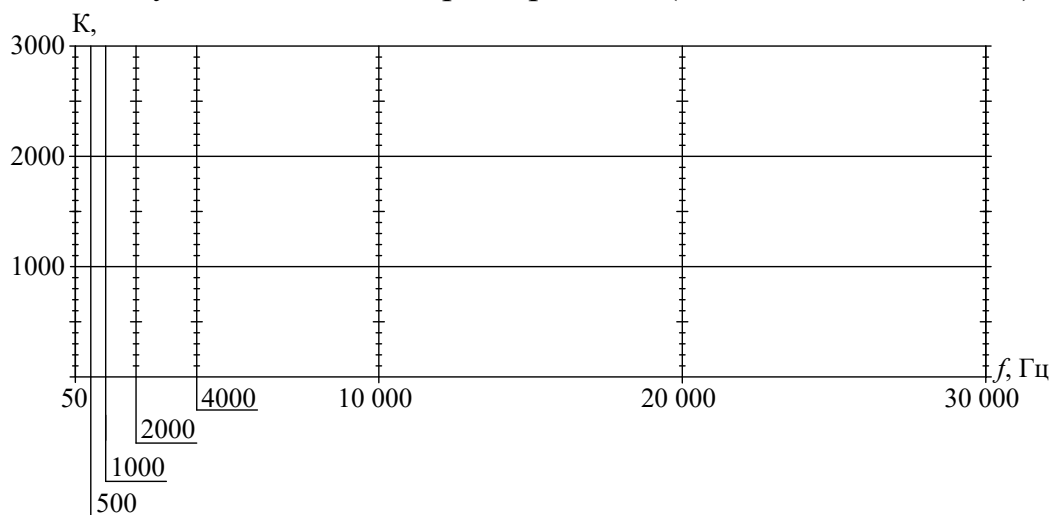


Рис. Б3

Амплитудная характеристика (по данным таблицы 3)

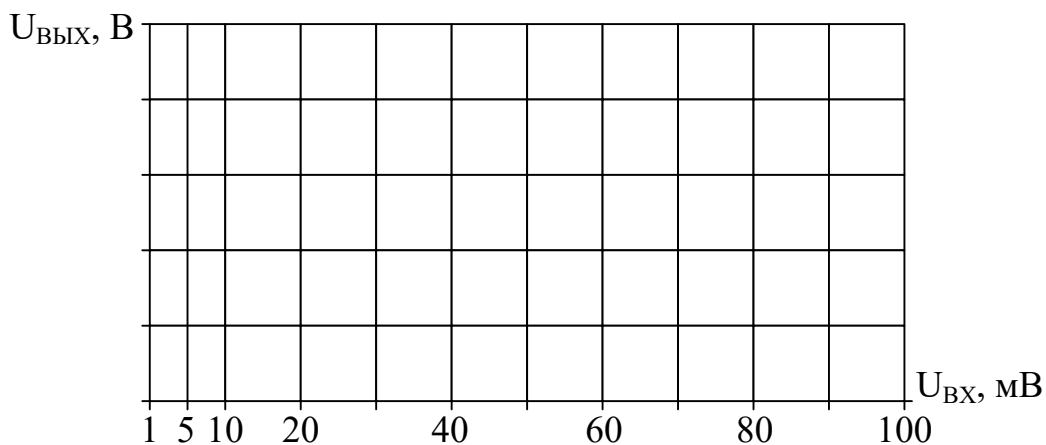


Рис. Б4

Выводы по работе:	